

## ⑫ 公開特許公報(A) 昭62-213279

⑬ Int. Cl.<sup>4</sup>

識別記号

庁内整理番号

⑭ 公開 昭和62年(1987)9月19日

H 01 L 29/80  
29/50H-8122-5F  
U-7638-5F

審査請求 未請求 発明の数 1 (全4頁)

⑮ 発明の名称 半導体装置

⑯ 特 願 昭61-57326

⑰ 出 願 昭61(1986)3月14日

⑱ 発 明 者 今 村 健 一 川崎市中原区上小田中1015番地 富士通株式会社内  
 ⑲ 発 明 者 石 井 和 明 川崎市中原区上小田中1015番地 富士通株式会社内  
 ⑳ 出 願 人 富 士 通 株 式 会 社 川崎市中原区上小田中1015番地  
 ㉑ 代 理 人 弁 理 士 井 柝 貞 一

## 明 細 書

許請求の範囲第1項記載の半導体装置。

## 1. 発明の名称

半導体装置

## 2. 特許請求の範囲

1) ノンドープの砒化ガリウム層と、ドナー不純物を含む砒化ガリウム層とノンドープの砒化アルミニウム層とからなる超格子構造と、ドナー不純物を含む砒化インジウムガリウム層とが積層されて、該ノンドープの砒化ガリウム層の該超格子構造との界面近傍に、該超格子構造から遷移する電子により2次元電子ガスが形成され、

オーミックコンタクト電極が該砒化インジウムガリウム層に接して配設されてなることを特徴とする半導体装置。

2) 前記2次元電子ガスを制御するゲート電極が前記超格子構造に接して配設され、かつ前記オーミックコンタクト電極と該ゲート電極とが共に、半導体基体上にクロムを被着し、該クロム層上に金を被着して形成されてなることを特徴とする特

## 3. 発明の詳細な説明

## 〔概要〕

この発明は、砒化ガリウム/砒化アルミニウム超格子構造から供給される2次元電子ガスをチャネルとする半導体装置にかかり、

オーミックコンタクト電極を砒化インジウムガリウム層に接して配設することにより、

合金化熱処理を行うことなく良好なコンタクトを得て、電子密度の低下等の熱劣化を防止するものである。

## 〔産業上の利用分野〕

本発明は半導体装置、特に空間分離ドーピングと界面量子化による高移動度のキャリアをチャネルとする例えば高電子移動度電界効果トランジスタ(HENT)等の半導体装置の改善に関する。

例えばHENTは、ノンドープの砒化ガリウム(GaAs)層とn型砒化アルミニウムガリウム(AlGaAs)層

等のヘテロ接合界面近傍に2次元状態の電子を形成し、不純物をドーピングする領域とキャリアが移動する領域とを空間的に分離してキャリア移動度を増大し、高速デバイスとして強い期待が寄せられている。

(従来の技術)

空間分離ドーピングとキャリアの界面量子化により高移動度を実現している半導体装置の例として、HEMTの一例の模式側断面図を第2図(a)、(b)に示す。

図(a)に示すHEMTの従来例では、半絶縁性GaAs基板11上にノンドープのi形GaAs層12と、これより電子親和力が小さく例えば濃度 $2 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 程度のドナー不純物がドーパされたn型Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>As層13と、これと同程度以上にドナー不純物がドーパされたn型GaAs層14とが設けられ、n型AlGaAs層13からi形GaAs層12へ遷移した電子によってヘテロ接合界面近傍に2次元電子ガス12eが形成される。この2次元電子ガス12eは不純物散乱によ

る移動度低下が殆どなく、格子散乱が低下する例例えば77K程度以下の低温において最も高い移動度を得られる。

この半導体基体のn型GaAs層14上にソース、ドレイン電極15を例えば金ゲルマニウム/金(AuGe/Au)を用い、n型AlGaAs電子供給層13上にゲート電極16を例えばチタン/白金/金(Ti/Pt/Au)を用いて設け、ゲート電極16によるショットキ空乏層で2次元電子ガス12eの面密度を制御してトランジスタ動作が行われる。なお15Aはソース、ドレイン電極15と半導体基体との間に形成された合金化領域である。

この構造のn型Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>As電子供給層13とi型GaAsチャネル層12との伝導帯のエネルギー準位差が少ない場合には2次元電子ガス12eの面密度 $N_s$ が小さくなるために、通常伝導帯の準位差を0.25eV程度以上、従ってn型Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>As電子供給層13のAl組成比 $x$ を0.3程度以上とすることが望ましい。

しかしながら他方において、Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>As混晶の

Al組成比 $x$ が0.25程度より大きいときには、ドーパしたシリコン(Si)等のドナー準位が急激に深くなる。この深いドナー準位は、200K程度以下で赤外線が入射すれば電子が伝導帯に励起され、光照射を停止しても伝導電子がドナー準位に落ちないPPC(persistent photo conductivity)等の現象を示してDXセンターと呼ばれるが、これにより、ドーピング量を増加しても高いキャリア濃度が得られず、特に低温における2次元電子ガス面密度 $N_s$ の低下、従って伝導コンダクタンス $\sigma$ の低下を招いている。また光が入射したり、ホットエレクトロンがチャネルからAlGaAs層に飛び込むことにより、2次元電子ガス面密度 $N_s$ 、電子移動度 $\mu_n$ 及び閾値電圧 $V_{th}$ 等が変動する現象が現れ、低周波雑音の原因ともなっている。

このAlGaAs混晶内の深いドナー準位に起因する問題に対処するものとして第2図(b)に示す従来例がある。本従来例では前記従来例のn型Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>As層13に代えて、電子供給層をGaAs層23aとAlAs層23bとからなる超格子構造23とし、GaAs層23a

に例えば濃度 $5 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 程度にドナー不純物をドーピングし、AlAs層23bはノンドープとしている。

この改善により、AlGaAs混晶層を電子供給層とするHEMTが、例えば温度77Kにおいて電子移動度 $\mu_n \approx 1 \times 10^5 \text{cm}^2/\text{Vs}$ 、2次元電子ガス面密度 $N_s \approx 1.2 \times 10^{11} \text{cm}^{-2}$ 程度であるのに対して、GaAs/AlAs超格子構造を電子供給層とする同等のHEMTは、2次元電子ガス面密度 $N_s \approx 3.0 \times 10^{11} \text{cm}^{-2}$ 程度が同等の電子移動度 $\mu_n$ で得られ、閾値電圧 $V_{th}$ の変動等の問題も改善されると報告されている。

(発明が解決しようとする問題点)

上述の如くGaAs/AlAs超格子構造によりAlGaAs混晶における深いドナー準位に起因する問題が改善されるが、HEMT素子を実際に完成した状態では、エピタキシャル成長直後の半導体基体に比較して、2次元電子ガス面密度 $N_s$ の低下、従ってシート抵抗の増大などの劣化を発生する。

製造プロセス中のこの劣化の最大要因は熱処理

である。すなわちn型GaAs層14上にオーミックコンタクト電極材料として、例えば金ゲルマニウム合金(AuGe)を厚さ20nm、金(Au)を厚さ280nm程度積層被着、パターンニングし、温度450℃、1分間程度の熱処理により電極材料と半導体基体とを合金化して、ソース、ドレイン電極15のオーミックコンタクト抵抗を低減しているが、この熱処理の過程でGaAs層23aにドーブしたSiの拡散などにより超格子構造に損傷を生じている。

HENT等の界面量子化されたキャリアを利用する半導体装置のキャリア増大は重要な課題であり、その効果を損なう要因の排除が強く要望されている。

#### (問題点を解決するための手段)

前記問題点は、ノンドープの砒化ガリウム層と、ドナー不純物を含む砒化ガリウム層とノンドープの砒化アルミニウム層とからなる超格子構造と、ドナー不純物を含む砒化インジウムガリウム層とが積層されて、該ノンドープの砒化ガリウム層の

該超格子構造との界面近傍に、該超格子構造から遷移する電子により2次元電子ガスが形成され、オーミックコンタクト電極が該砒化インジウムガリウム層に接して配設されてなる本発明による半導体装置により解決される。

#### (作用)

本発明によれば、ドナー不純物を含むGaAs層とノンドープのAlAs層とからなる超格子構造から電子が遷移して、ノンドープのGaAs層の該超格子構造との界面近傍に2次元電子ガスが形成される半導体装置において、そのオーミックコンタクト電極をドナー不純物を含むIn<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>As層に接して配設する。

In<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>As混晶はGaAs結晶よりエネルギーバンドギャップE<sub>g</sub>が狭く、GaAsのE<sub>g</sub>≒1.42eVに対して例えばIn<sub>0.5</sub>Ga<sub>0.5</sub>AsはE<sub>g</sub>≒0.76eVであり、合金化熱処理を行わないで低抵抗のオーミックコンタクトを得ることができる。

この電極材料としては例えばクロム/金(Cr/Au)

が通っており、この電極材料でIn<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>As混晶層にオーミックコンタクトするソース、ドレイン電極と、GaAs/AlAs超格子構造にショットキコンタクトするゲート電極とを同時に形成することも可能である。

#### (実施例)

以下本発明を実施例により具体的に説明する。

第1図はHENTにかかる本発明の実施例を示す模式側断面図である。

本実施例の半導体基体は分子線エピタキシャル成長法(MBE法)等により、半導体性GaAs基板1上に、厚さ例えば1μm程度のノンドープのi型GaAs層2、例えば濃度5×10<sup>17</sup>cm<sup>-3</sup>程度にSiをドーブして厚さ5nm程度のn型GaAs層3aとノンドープで厚さ例えば2nm程度のi型AlAs層3bとの7周期からなるGaAs/AlAs超格子構造3、例えば厚さ約5nmの範囲でGaAsからIn<sub>0.5</sub>Ga<sub>0.5</sub>Asまで次第にインジウム(In)の組成比を増加し厚さ100〜200nm程度で、濃度1×10<sup>18</sup>cm<sup>-3</sup>程度にSiをドーブしたn

型InGaAs層4を順次成長している。この半導体基体のi型GaAs層2のGaAs/AlAs超格子構造3との界面近傍に2次元電子ガス2eが形成される。この半導体基体のゲート形成領域をリセスエッチングし、電極材料層としてCr約50nm、Au約300nmを積層して、ソース、ドレイン電極5、ゲート電極6を同時に形成している。なお合金化領域を形成する熱処理は実施しない。

本実施例では、エピタキシャル成長直後に例えば温度77Kにおいて電子移動度μ<sub>n</sub>≒1×10<sup>5</sup>cm<sup>2</sup>/V・s、2次元電子ガス密度Ns≒3.0×10<sup>11</sup>cm<sup>-2</sup>程度である半導体基体を用いて、HENT素子完成後に同温度において有意差のない2次元電子ガス密度Nsが得られ、同一半導体基体にオーミック電極材料としてAuGe/Auを用い、温度450℃、1分間程度の合金化熱処理を実施した比較試料が、2次元電子ガス密度Ns≒1.2×10<sup>11</sup>cm<sup>-2</sup>程度であるのに比較して本発明の効果が実証されている。

なお本発明はHENTにその適用を限られるものではなく、例えばホットエレクトロントランジスタ、

共鳴ホットエレクトロントランジスタの高速化のためにそのベース層に2次元電子ガスを用いる際に本発明を適用してベース抵抗を低減するなど、空間分離ドーピングと界面量子化による高移動度のキャリアを用いる半導体装置全般に適用することが可能である。

#### (発明の効果)

以上説明した如く本発明によれば、空間分離ドーピングと界面量子化による高移動度のキャリアを利用するHEMT等の半導体装置において、GaAs/AlAs超格子構造の電子供給層に、2次元電子ガス面密度の低下、シート抵抗の増大などの劣化をもたらす熱損傷を製造工程中に与えることなく、良好な特性の半導体装置が実現される。

図において、

- 1 は半絶縁性GaAs基板、
- 2 はノンドープのGaAs層、
- 2a は2次元電子ガス、
- 3 はGaAs/AlAs超格子構造、
- 3a はn型GaAs層、
- 3b はノンドープのAlAs層、
- 4 はn型InGaAs層、
- 5 はCr/Auソース、ドレイン電極、
- 6 はCr/Auゲート電極を示す。

#### 4. 図面の簡単な説明

代理人 弁理士 井桁貞一



第1図はHEMTにかかる本発明の実施例の模式側断面図、

断面図、

第2図はHEMTの従来例の模式側断面図である。





